

ANÁLISIS DE RÉGIMEN SEDIMENTARIO DEL PALEOLAGO DE ALTURA PLEISTOCENO DONDE SE HALLARON LOS PRIMEROS RESTOS DENTARIOS DEL ÉQUIDO HIPPIDION DEVILLEI, MENDOZA-ARGENTINA

Stella M. Moreiras ^{1,2}, Cecilia A. Benavente ^{1,3}, Cibeles D. Bufarini ²

¹ CONICET, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT-Mendoza, Av. Ruiz Leal S/n, Mendoza CP5500, Argentina. moreiras@mendoza-conicet.gob.ar; cbenavente@mendoza-conicet.gob.ar

² UNCuyo, Facultad de Ciencias de Ciencias Agrarias, Almirante Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, M5528AHB. Mendoza, Argentina. cibeledenis.bufarini@gmail.com

³ UNCuyo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Padre Jorge Contreras 1300. Parque General San Martín. M5502JMA. Mendoza, Argentina.

ARTICLE INFO

Article history

Received May 16, 2018

Accepted December 18, 2018

Available online January 18, 2019

Handling Editor

Fernando Gómez

Keywords

Sucesión sedimentaria

Facies

Paleoambiente

Represamiento natural

Pleistoceno tardío

RESUMEN

En este trabajo se estudia el régimen sedimentario de un paleolago donde fueron encontrados restos que constituyen el primer registro fósil de un équido perteneciente a la especie *Hippidion devillei*, en la provincia de Mendoza (Argentina). Los niveles lacustres donde se encontró el material dentario compuesto por premolares y molares fueron analizados en detalle mediante perfiles estratigráfico-sedimentológicos realizados a distintos niveles en la comarca de Uspallata al pie del Cordón del Plata. En esta sucesión principalmente limo-arenosa de 29 m de espesor total se describieron las estructuras sedimentarias, la granulometría de los depósitos y las facies principales. Este paleolago, represado por una avalancha de rocas pleistocena (~115Ka) permite reconstruir parcialmente el paleoambiente donde vivió el equino. Se trató de un sistema efímero de tipo barreal con períodos de llenado y secado.

EXTENDED ABSTRACT

Analysis of the sedimentary regime of the Pleistocene paleo lake where dental remains of the equidae Hippidion devillei were found in Mendoza highlands, Argentina

The hydrochemical and sedimentary features of water bodies are directly linked to climate conditions during genesis and evolution (Williamson *et al.*, 2008). Lacustrine deposits record climatic signals spatially and temporally, so their study allows the

reconstruction of these environmental conditions and their evolution (Laprida *et al.*, 2014). The high resolution of the lake sedimentary record has a key role in paleoenvironmental and paleoclimate understanding (Gierlowski-Kordesch and Kelts, 1994; Bohacs *et al.*, 2000). Hence, paleolimnology is an interdisciplinary science developed from chemical, physical and biological information of sedimentary records of aquatic bodies that allows paleo-environmental reconstruction (García-Rodríguez, 2002). In particular, these studies are performed in current lakes by drilling and core extraction, which limits

the interpretation of macro structures given that many cores are required to perform a comprehensive analysis of past environmental and climatic conditions. In this work we analyze the sedimentary sequence of the exposed profile of a paleolake where remains of an equine belonging to the *Hippidion devillei* species were found (Cerdeño *et al.*, 2008). These remains correspond to dental material consisting in premolars and molars that constitute the first fossil record of a Pleistocene horse found in the province of Mendoza (Argentina) (32° S).

The objective of our work is to understand the sedimentary regime and evolution of this high altitude-paleolake (2680 m) associated with the megafauna of South America. This paleolake, named as DL3, is preserved along the Arroyo Minero located in the northwest of Mendoza province, specifically in the north extreme of the El Plata range (Central Andes) (Fig. 1). This paleolake was naturally dammed by the PB3 rock avalanche (Fig. 2). The chronology of this collapse was established by terrestrial cosmogenic nuclides (TCN) dating, performed on surficial big boulders on the top of rock avalanche deposits. ^{36}Cl isotope was used because of the volcanic composition of these blocks. An $\sim 115 \pm 23$ Ka age (Moreiras *et al.*, 2015) was determined after discarding a younger result from 4 dated samples (PB4.01 in Table 1).

The total lake succession reaches 29 m in thickness, for this reason several profiles were analyzed considering the abrupt topography (Fig. 3). Each level was described considering grain size, sedimentary structures, and main facies according to the lithofacies code of Miall, (1978) (Table 3). Color of layers was determined with field humidity and was described according to the Munsell chart. Descriptions were documented by pictures taken with a digital camera (Sony DSC, zoom 15X). Three sections were a priori established in the whole lake sequence profile. A Lower section corresponding to the lowest 9 m.; the Medium section comprehends the following 10 m up, and the Upper section involves the last 10 m of the sequence. Data of the revealed profiles were used to draw the lacustrine stratigraphic sequence (Fig. 4).

Sedimentary analysis shows a thick succession of alternating levels of sands and silts with thicker subordinate boulders and gravels in the profile base. The facies association a is composed by matrix supported gravels, stratified sands and laminated silt-

clays (Gm-Sh-Fl) (Table 2) representing the lower 10 meters of the profile. It consists of the interbedding of clays and silts layers of 50-70 mm (Fig. 5a) with 60 mm – thick sand layers. The clays and silts are laminated (facies Fl), with reddish, light brown and green sheets of 0.5 to 1 mm in thickness (Fig. 5b and c); they can be massive (Fm) and present organic matter (OM) content. Sand levels are medium to fine in grain with yellow color. They can be massive (Sm facies) or show planar lamination (Sh facies) within 1-2 cm thick layers. The Sm facies can present CaCO_3 nodules (Fig. 5e), associated with oxidized levels showing rain drop marks. The Sh facies presents lags of rhyolitic angular clasts of 5-30 cm in diameter (Fig. 5d), from local outcrops. Towards the top of the lower section we can observe matrix supported gravels (Gm facies) with angular to subangular blocks of 0.07 m in diameter of rhyolitic porphyries and vulcanites within a sabulitic matrix of coarse sand of equal composition, its base is erosive. The facies b association is composed by stratified sands and laminated silt-clays (facies Sh-Sr-Sp-Fl-Fr) that extend over 9 m of the exposed profile (Fig. 6a). The Sh facies is characterized in this case by lentiform levels (Fig. 6b) that may have superimposed load structures and silt cracks (Fig. 6e and f). The Sr facies have ripples of 2 cm in width and 1 cm in height (Fig. 6c). The Sp facies are characterized by 7 cm planar cross-bedding structures forming 0.5-1 cm sets and 2 cm cosets containing the found remains of the *Hippidion devillei* (Fig. 6d). Silts and clays (facies Fl) contain sand dikes (Fig. 6g) and mud drapes with cracks drying out at the tops. They can form ripples of 0.5 mm in height on inclined surfaces between 10-15°. We identified rework, cut and fill structures supported by silts in diffuse contact. In certain strata, the presence of a reverse fault is observed towards the top of this section.

Concerning interpretation of the facies associations, the alternation of facies Sh-Sm with facies Fl suggests a zone of interaction of tractive flows probably sheet flood with processes of deposition by suspension (Young *et al.*, 2003, Fisher *et al.*, 2008). The presence of massive sandstones arranged in coarsening-thickening upward pattern and covered by levels rich in carbonate nodules indicates alteration of the fabric by pedogenetic processes (Retallack, 1994). This indirectly raises the possibility of a system with low sediment input. The deposit of clasts, possibly dealing with a hyper-

concentrated flow without lamination, came from the outside or edge of this level. It is ruled out that it is a local fall since no deformation is observed at the base of said level. The angular blocks originating from the Choiyoi Group reinforce the hypothesis of sediment supply from the basin margin. Taking into account the described facies, and the scarce presence of organic matter, one can deduce a sub-environment of ephemeral sandy plain (Smoot and Lowenstein, 1991). While, interpretation of the facies b association with an alternation of facies Sh and Fl with greater contribution of fine sediments allows inferring a more central position in the system with greater dominion of decantation processes and lower contribution of coarse sediments from the margin of the basin through tractive processes (Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994). The presence of Sr suggests tractive processes associated with sheet flood flows. The Fr facies suggest ripple formation by wave action in possible bodies of water seasonally generated (Gierlowski-Kordesch, 1998). Loading structures are interpreted as a result of alternating sediments of different densities and with different degrees of water saturation (Van Loon, 2009). The presence of wafers suggests the development of a thin sediment cover during the cessation of water and sediment supply (mud drapes) and subsequent erosion (wafers) during the subsequent flood event of the system (Fisher *et al.*, 2008). The thin covering added to the presence of desiccation cracks is a robust evidence of the system's ephemeral regime (Smoot and Lowenstein, 1991). Sand dams are associated with possible seismites (Obermeier, 1996, Rodríguez-Pascua *et al.*, 2000, Alfaro *et al.*, 2010). The reverse type fault corresponds to the most central area of the playa (Fig. 4i) to which sliding structures (slumps) could have been extended. The dominion of the facies Fl towards the top of the succession allows inferring an ephemeral muddy plain (Smoot and Lowenstein, 1991).

Facies associations correspond to two sub-environments: sandy and muddy plains that conform an ephemeral playa lake. The normal gradation trend of layers with presence of thick sediments (Gm) at the base and finer layers (Fl) towards the top of the succession suggest a decrease in the sedimentary contribution over time and a more central position in the basin. These findings are significant for Quaternary paleo environment record of the Central Andes. The predominance of arid climate conditions

restricts development and preservation of organic matter. Thus, the use of commonly used techniques such as pollen determination or radiocarbon dating in Quaternary records is practically unfeasible in this region. For this reason, the study of paleolakes if they show well preserved successions, may be a response to this limitation in paleoclimate reconstruction in the Arid Andes.

Keywords: sedimentological succession, facies, paleoenvironment, natural dam, Late Pleistocene.

INTRODUCCIÓN

Los lagos constituyen registros ambientales continuos que permiten analizar el efecto de cambios climáticos ya que las propiedades hidroquímicas y sedimentarias de los mismos están directa o indirectamente relacionadas a las condiciones climáticas durante su génesis y evolución (Williamson *et al.*, 2008). Los depósitos lacustres registran espacial y temporalmente estas señales climáticas, por lo que su estudio permite la reconstrucción de dichas condiciones ambientales y su evolución temporal (Laprida *et al.*, 2014). Es de suma importancia el hecho de que la resolución del registro sedimentario lacustre es muy alta ya que permite conocer en detalle modificaciones sutiles del paleoambiente y paleoclima (Gierlowski-Kordesch y Kelts, 1994; Bohacs *et al.*, 2000). Es así que la paleolimnología es la ciencia interdisciplinaria que se desarrolla a partir de la información química, física y biológica del registro sedimentario de cuerpos acuáticos, para reconstruir sus condiciones paleoambientales (García-Rodríguez, 2002). En particular estos estudios se realizan en lagos actuales mediante el muestreo por barreno, que en cierta medida limita la interpretación de estructuras macroscópicas ya que se requiere de numerosos testigos para poder realizar un análisis integral de las condiciones ambientales. Además, la profundidad de los cuerpos de agua y el material utilizado para el muestreo definen la longitud del testigo que se puede extraer, que en múltiples casos no se trata de la extensión adecuada. En este sentido, son pocos los estudios de paleolimnología en los que se analizan perfiles expuestos de lagos antiguos cuaternarios (García-Castro, 2011). En su mayoría, los trabajos paleolimnológicos se centran en el estudio de fósiles y de su ambiente, pudiendo inferir condiciones paleoclimáticas y paleoambientales a

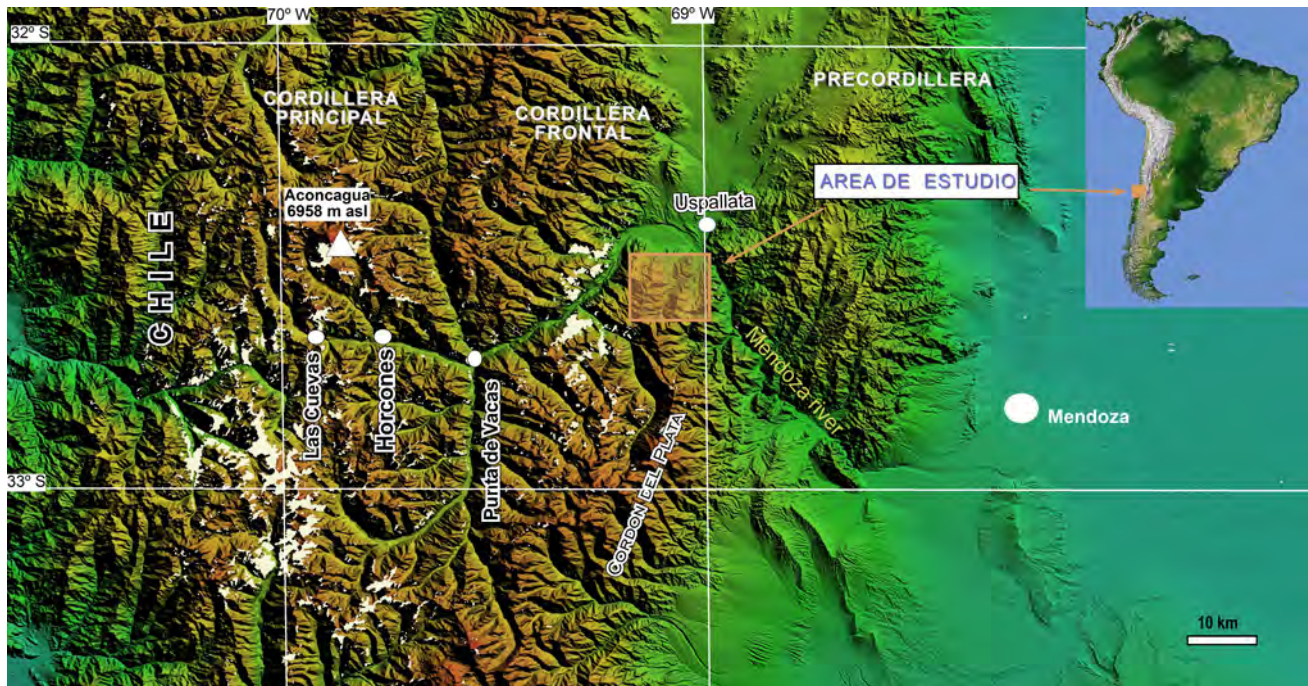


Figura 1. Modelo digital de elevaciones SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) del valle del Río Mendoza indicando el área de estudio en el extremo septentrional del Cordón del Plata.

Figure 1. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Digital Elevation model of Mendoza river valley showing the study area located in the northern extreme of the Cordón del Plata range.

partir del conocimiento del comportamiento y hábitat de determinadas especies animales denominadas bioindicadores o bioproxies (Sánchez-P *et al.*, 2000; Laprida *et al.*, 2014; Del Río *et al.*, 2007). Así, el estudio de paleolagos, permiten comprender la dinámica de este ambiente y asociarlo a determinadas condiciones climáticas del pasado. En este trabajo analizamos la sucesión sedimentaria del perfil expuesto de un paleolago pleistoceno en donde fueron encontrados los primeros restos fósiles en Mendoza de un equino *Hippidion* sp. El objetivo es comprender la evolución de este paleolago de altura asociado a la megafauna de América del Sur.

MARCO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza al noroeste de la provincia de Mendoza, en el departamento de Luján de Cuyo. Se ubica en el extremo nororiental del Cordón del Plata (Andes Centrales), al sur del valle de Uspallata, a los S 32°43' - O 69°20', a una altitud de 2648 msnm, al pie del Cerro Minero de 3850 msnm (Fig. 1). En la zona de estudio predominan las condiciones climáticas áridas y semiáridas con la existencia de niveles o pisos climáticos, rasgo característico

de las regiones montañosas (Norte, 1995). Según la clasificación climática de Köppen, la cuenca posee un clima seco desértico (tipo BW) y, en la zona de mayor altura de Cordillera Frontal y el Cordón del Plata, clima helado (tipo ET); con lo cual la cantidad de precipitaciones es inferior al límite de sequía y se producen en verano, mientras que en temporadas invernales es frío y seco.

Geológicamente, la zona de estudio se ubica dentro de la unidad morfotectónica de Cordillera Frontal cuyo basamento está constituido por rocas devónicas metasedimentarias de la Serie Vallecitos (Heredia *et al.*, 2012) y depósitos marinos del Carbonífero tardío y Pérmico temprano correspondientes a las formaciones Loma de los Morteritos y El Plata (Camino, 1965). Una secuencia de rocas volcánicas bimodales permo-triásicas del Grupo Choiyoi (Camino, 1979) cubren en discordancia estas rocas más antiguas. Este grupo se subdivide en la Formación Tambillos, compuesta de vulcanitas, lavas riolíticas y sedimentos lacustres; y la Formación Horcajo, compuesta de riolitas, dacitas, rocas piroclásticas y lavas. Las rocas subvolcánicas del grupo están representadas por un pórfido riolítico, de 278 ± 10 Ma datadas por K/Ar (Pérmico tem-

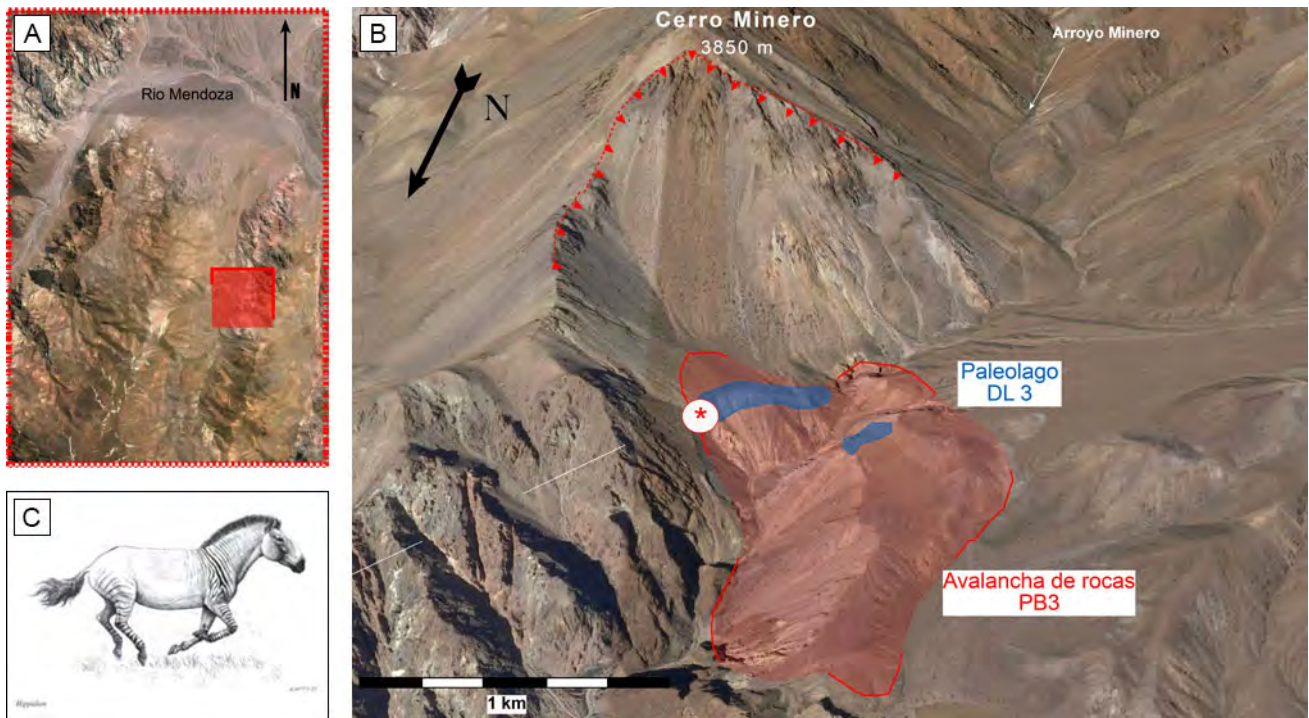


Figura 2. a) Ubicación geográfica del paleolago DL3 represado por la avalancha de rocas PB3, b) Imagen de la ladera noroccidental del Cerro Minero donde se distinguen los depósitos cuaternarios del paleolago DL3 ubicado a 2680 m snm y la avalancha de rocas PB3, c) Representación del caballo *Hippidion* sp. * indica sitio de hallazgo.

Figure 2. a) Location of the DL3 paleolake dammed by the PB3 rock avalanche, b) Image of norwestern hillslope of the Minero peak showing the Quaternary deposits of the DL3 paleolake located at 2680 m asl., and the PB3 rock avalanche, c) *Hippidion* sp. horse representation, * indicates site of founded remains.

prano), y diques andesíticos, mientras que rocas intrusivas constituyen pequeños cuerpos graníticos y de gabro datadas en 244 ± 10 Ma por K/Ar (Caminos *et al.*, 1979).

CRONOLOGÍA DEL PALEOLAGO DL3

El paleolago denominado DL3, motivo de estudio, se encuentra relícticamente preservado en el Arroyo Minero. Este paleolago fue generado a partir del represamiento de una avalancha de rocas denominada PB3 (Fig. 2). Asociados a este evento se encuentran depósitos caóticos como piso del paleolago, aflorando justo donde el valle del arroyo presenta un salto topográfico importante. La avalancha de roca habría sido generada en la ladera noroeste del Cerro Minero (3850 msnm), presumiblemente gatillada por un sismo de magnitud mayor a 6 ($M > 6$) asociado al Sistema de Fallas de Carrera (Fauqué *et al.*, 2009).

La edad de la avalancha de rocas responsable del represamiento fue establecida mediante dataciones de isótopos cosmogénicos (TCN- Terrestrial

Cosmogenic Nucleids) de bloques preservados en la superficie del depósito. Debido a la composición volcánica de estos bloques se dataron por isótopos de ^{36}Cl resultando una edad estimada $\sim 115 \pm 23$ Ka (Moreiras *et al.*, 2015). Esta edad surge de un promedio de tres fechados cosmogénicos ya que una de las muestras llamativamente más joven fue descartada (PB4.01 en Tabla 1).

La edad Pleistoceno tardío de la avalancha de rocas PB3 es confirmada por el hallazgo de los restos dentarios de un caballo perteneciente a la especie *Hippidion devillei*, encontrados en niveles limo-arenosos del paleolago (Cerdeño *et al.*, 2008). Los caballos (Equidae, Perissodactyla) aparecen en el registro fósil de América del Sur a partir del Plioceno tardío, tras el levantamiento del istmo de Panamá hace unos 3 Ma (Webb, 1991). Este evento permitió su expansión por el continente hasta fines del Pleistoceno, convirtiéndose en un componente importante en las comunidades de grandes mamíferos que habitaban las extensas llanuras y otros ambientes durante el Cuaternario, momento en el que se extinguen junto

con otros mamíferos de talla grande.

METODOLOGÍA

La sucesión del paleolago DL3 (Fig. 3) tiene un espesor total de 29 m, por ello se levantaron distintos perfiles verticales siguiendo la topografía abrupta y disectada de los afloramientos, al mismo tiempo que se procedió a su registro fotográfico. Para ello se utilizó una cámara digital (Sony DSC) con aumento 15X. Se detallaron las estructuras sedimentarias, la granulometría de los depósitos y las facies principales determinadas a partir del código de litofacies de Miall (1978) (Tabla 2). El color de los niveles se determinó a través de las cartas de Munsell, de modo relativo a partir de la muestra en mano con humedad de campo ya que no se realizó secado de las mismas. El contenido de materia orgánica fue determinado en campo por medio de la coloración de los diferentes niveles.

El perfil estratigráfico completo se subdividió inicialmente en tres secciones para una descripción más detallada de la sucesión lacustre debido a su disposición en terreno, los afloramientos están disectados y erosionados en pendientes abruptas. La sección basal corresponde a los primeros 9 metros; la sección media a los siguientes 10 metros y, la sección tope, corresponde a los 10 metros más superficiales de la sucesión. A partir de las observaciones de campo registradas en los perfiles se elaboró una base de datos para luego proceder a graficar la sucesión estratigráfica mediante el uso de una herramienta gráfica (Fig. 4).

RESULTADOS

Análisis Sedimentario

La sucesión analizada presenta 29 m de potencia en los que se alternan principalmente areniscas y limolitas estrato-decrecientes con sedimentos más gruesos subordinados (conglomerados) en la base. En esta sucesión se han identificado tres secciones: inferior, medio y superior en los que se suceden gradualmente dos asociaciones de facies.

Asociación de facies a

Descripción: Está compuesta por las facies (Gm-Sh-Fl) (Tabla 2) y compone la sección inferior del perfil

extendiéndose en 10 m de potencia. Consiste en la intercalación de niveles de arcillas y limos de entre 50-70 mm de espesor (Fig. 5a) con estratos de arena de 60 mm de potencia. Las arcillas y limos son laminados (facies Fl), con láminas de 0.5 a 1 mm de espesor y color rojizo, marrón claro y verde (Fig. 5b y c); pueden presentar contenido de materia orgánica (MO) o ser masivas (Fm). Las arenas son de granulometría mediana a fina y color amarillo, pueden ser masivas (facies Sm) o presentar estratificación horizontal (facies Sh) con láminas de 1-2 cm. La facies Sm puede presentar nódulos de CaCO_3 (Fig. 5e), asociados a niveles oxidados con marcas de lluvia. La facies Sh presenta *lags* de clastos angulosos riolíticos de 5-30 cm de diámetro (Fig. 5d), provenientes de afloramientos locales. Hacia el tope de la sección inferior se observa la facies Gm donde hay clastos con abundante matriz con bloques angulosos a subangulosos de 0,07 m de diámetro de pórfiros riolíticos y de vulcanitas del Choiyoi contenidos en una matriz de arena gruesa de igual composición, su base es erosiva.

Asociación de facies b

Descripción: Conformada por las facies arenas estratificadas y limo-arcillas laminadas (Sh-Sr-Sp-Fl-Fr) (Tabla 2) que se extienden en los 19 m de potencia del perfil (sección media y tope) con alternancia de limos y arenas (Fig. 6a). La facies Sh se caracteriza en este caso por niveles lentiformes (Fig. 6b) que pueden presentar estructuras de carga superimpuestas (y barquillos de limos (Fig. 6e y f). La facies Sr presenta ondulitas de 2 cm de amplitud y 1 cm de altura (Fig. 6c). La facies Sp se caracteriza por estructuras de entrecruzamiento planar de 7 cm formando sets de 0.5 - 1 cm y cosets de 2 cm y por contener los restos de *Hippidion devillei* (Fig. 6d). Los niveles de limos y arcillas (facies Fl) contienen diques de arena (Fig. 6g) y *mud drapes* con grietas de desecación en los topes. Pueden formar ondulitas de 0.5 mm de altura en superficies inclinadas entre 10-15° (facies Fr). También pueden verse estructuras de retrabajo, corte y relleno sobre la que apoyan limos en contacto difuso. Hacia la parte superior de esta sección se observa en ciertos estratos, la presencia de una falla inversa.

Interpretaciones a partir del análisis sedimentario

Interpretación de la asociación de facies a: La alternancia de facies Sh-Sm con facies Fl sugiere una

Muestra	Rango erosión									
	1.67 mm/ka					2.22 mm/ka				
	S	±σ1	±σ2	± Sc	Edad (ka)	S	±σ1	±σ2	± Sc	Edad (Ka)
PB4.01	72200	2110	4180	6000	72.20±10.18	74210	2250	4440	6500	74.21±10.94
PB4.02	122160	5400	10540	11700	122.16±22.24	128900	6160	11920	13400	128.90±25.32
PB5.01	101590	6180	12050	8800	101.59±20.85	104570	6730	13010	9600	104.57±22.61
PB5.02	109880	6450	12600	9500	109.88±22.10	112540	6990	13530	10300	112.54±23.56

Tabla 1. Edades cosmogénicas (^{36}Cl) de algunos bloques superficiales de la avalancha de rocas (PB3) que represó el paleolago estudiado (DL3) (Moreiras *et al.*, 2015).

Table 1. Cosmogenic ages (^{36}Cl) of some surficial blocks of the PB3 rock avalanche that dammed the studied paleolake (DL3) (Moreiras *et al.*, 2015).

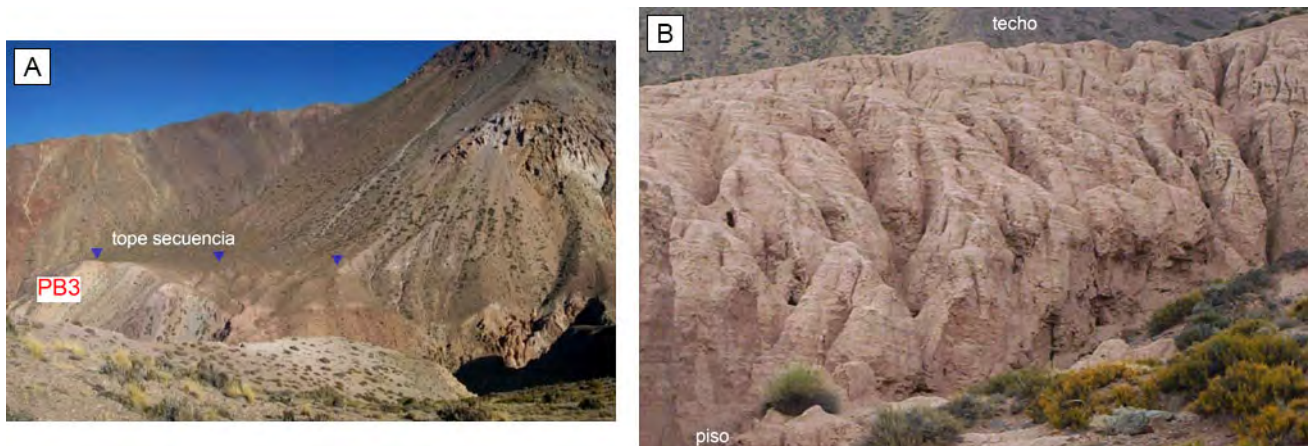


Figura 3. Paleolago pleistoceno tardío DL3: **a)** Niveles lacustres sobre el depósito de la avalancha de rocas PB3, las fechas indican el tope del lago, **b)** Sucesión estratigráfica del paleolago indicando piso y techo.

Figure 3. Late Pleistocene paleolake DL3: **a)** Lacustrine fine levels over the PB3 rock avalanche deposit, arrows indicate the top of the lake sequence, **b)** Stratigraphic succession of the paleolake showing the base and top.

zona de interacción de flujos tractivos probablemente mantiformes con procesos de depositación por suspensión (Young *et al.*, 2003, Fisher *et al.*, 2008). La presencia de arenas masivas dispuestas en arreglos grano y estratocrecientes coronadas por niveles ricos en nódulos carbonáticos indica alteración de la fábrica por procesos pedogenéticos (Retallack, 1994). Esto indirectamente plantea la posibilidad de un sistema con bajo aporte de sedimento. Los depósitos de tipo conglomerado, posiblemente se traten de un flujo hiperconcentrado, proveniente del exterior o borde de cuenca. Se descarta que se trate de una caída local ya que no se observa deformación en la base de dicho nivel. Los bloques angulosos con

procedencia del Grupo Choiyoi, refuerzan la hipótesis de aporte de sedimentos desde el margen de cuenca. Teniendo en cuenta las facies descritas, y la presencia escasa de materia orgánica, se puede deducir un subambiente de planicie arenosa efímera (Smoot y Lowenstein, 1991).

Interpretación de la asociación de facies b: La alternancia de facies Sh y Fl con mayor contribución de los sedimentos finos permite inferir una posición más distal en el sistema con mayor dominio de procesos de decantación y menor aporte de sedimentos gruesos desde el margen de la cuenca mediante procesos tractivos (Gierlowski-Kordesch y Rust, 1994).

Asociaciones de Facies	Facies	Estructuras sedimentarias	Geometría de los estratos	Relaciones verticales y laterales	Contenido fósil	Procesos	Interpretación
a Planicie arenosa	Conglomerados matriz sostén (Gm)	Conglomerados matriz sostén, bloques angulosos-subangulosos de 0,07 m de diámetro de pórfiros riolíticos y vulcanitas del Choyoi; matriz sabulítica de arena gruesa de igual composición	Tabular a lenticiforme, 0.1 m potencia, bases erosivas	Subyace a la facies Fl y sobreyace a la facies Sh	-----	Flujos tractivos confinados	Flujos tractivos confinados-mantiformes efímeros desde margen de cuenca en una planicie arenosa
	Areniscas estratificadas (Sh)	Areniscas finas-medias, color blanco-amarillo (5YR8/1-10YR7/8), laminación horizontal de 0.05-0.1 cm, lags basal de clastos riolíticos de 5 cm. A veces masivas con Sh difusa, estructuras de deformación por carga	Tabulares a lenticiformes, 0.07-0.1 m potencia, contactos netos	Subyace y sobreyace a la facies Fl	-----	Flujos tractivos confinados-mantiformes	
	Arenas masivas (Sm)	Areniscas finas-medias con nódulos de CaCO ₃ o asociados a niveles oxidados, con marcas de lluvia. Laminación difusa	Tabulares a lenticiformes, masivas 0.01 a 0.02m.	Subyace y sobreyace a la facies Fl	-----	Flujos tractivos confinados-mantiformes afectados por bioturbación	
	Limo-arcillitas laminadas (Fl)	Limos finamente laminados, color rojizo-beige (5YR5/6), láminas 0.5-1 mm espesor. Arcillitas masivas con preservación de materia orgánica y nódulos. En los topes mud drapes, grietas de desecación y marcas de gotas de lluvia	Tabulares, 0.15-0.7 m potencia	Subyace y sobreyace a la facies Sh	-----	Suspensión-decantación por disminución de energía de flujos tractivos	
b Planicie fangosa	Areniscas estratificadas (Sh-Sp- Sr)	Areniscas finas-gruesas, color blanco-amarillo (5YR8/1-10YR7/8), laminación horizontal 0.05-0.10 cm; estratificación entrecruzada plana en sets de 0.5 cm y corte y relleno de 0.5-20 cm; lags basal de clastos riolíticos de 5 cm; barquillos de Fl de 0.5 mm; estratificación entrecruzada de óndulas.altura 2-12 cm; masivas, estructuras de deformación por carga.	Tabulares a lenticiformes, 0.07-0.15 m potencia, contactos netos	Subyace y sobreyace a la facies Fl	Restos dentarios de Hippidiondevillei	Flujos tractivos mantiformes y de migración de óndulas subacuicas	Flujos tractivos mantiformes efímeros que retribajan los depósitos finos acumulados por decantación en una planicie fangosa
	Limo-arcillitas laminadas (Fl-Fr)	Limos finamente laminados, color rojizo (10YR5/6), láminas 0.5-1 mm. Arcillitas masivas con preservación de materia orgánica y nódulos. Asociados a estructuras ondulíticas de 0.5 mm inclinando 10-15°. En los topes mud drapes, grietas de desecación y marcas de gotas de lluvia.	Tabulares, 0.15-0.7 m potencia	Subyace y sobreyace a la facies Sh-Sp-Sr	-----	Suspensión-decantación y acción de oleaje en cuerpos de agua estancos	

Tabla 2. Asociaciones de facies definidas para la sucesión pleistocena que representa al paleolago DL3, Arroyo Minero, Cordillera Frontal, Mendoza.

Table 2. Facies association for the Pleistocene succession of the DL3 paleolake, Minero creek, Frontal Cordillera, Argentina.

La presencia de Sr sugiere procesos tractivos asociados a flujos mantiformes. La facies Fr sugiere formación de ondulitas por acción de oleaje en posibles cuerpos de agua estancos generados estacionalmente (Gierlowski-Kordesch, 1998). Las estructuras de carga se interpretan como resultado de la alternancia de sedimentos de diferente densidad y con distintos grados de saturación de agua (Van Loon, 2009). La presencia de barquillos sugiere el desarrollo de una cubierta de sedimento fino durante el cese de aporte de agua y sedimentos (*muddrapes*) y su posterior erosión (barquillos) durante el subsecuente evento de inundación del sistema (Fisher *et al.*, 2008). La cubierta fina sumada a la presencia de grietas de desecación es una evidencia robusta del régimen efímero del sistema (Smoot y Lowenstein, 1991). Los diques de arena se asocian a posibles sismitas (Obermeier, 1996; Rodríguez-Pascua *et al.*, 2000; Alfaro *et al.*, 2010), aunque las mismas no se presentan en forma extensiva. La falla de tipo inversa corresponde a la zona más central del barreal (Fig. 4) a la que podrían haberse extendido estructuras de deslizamiento (slumps). El dominio de la facies Fl hacia el tope de la sucesión permite inferir un subambiente de planicie fangosa efímera (Smoot y Lowenstein, 1991).

Sistema depositacional y evolución: Las asociaciones de facies a y b corresponden a dos subambientes: planicie arenosa y fangosa que permiten identificar un sistema lacustre efímero de tipo barreal. La tendencia estrato-decreciente y dominio de facies de sedimentos gruesos (Gm) en la base pero a la vez gran contribución de sedimentos finos (Fl) hacia el tope de la sucesión sugiere una disminución de la energía en el sistema sedimentario en el tiempo, vinculado a posiciones más distales en la cuenca.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las evidencias paleo-ambientales para el Pleistoceno tardío son muy escasas en los Andes Centrales principalmente por el predominio de un clima árido que dificulta la presencia de materia orgánica ya sea por su escaso desarrollo o por la escasa preservación. Así, el empleo de técnicas usualmente utilizadas como la determinación polínica o el fechado por radiocarbono en los registros cuaternarios es prácticamente inviable en esta región andina. Por este motivo, el estudio de los paleolagos con secuencias bien preservadas puede representar la única posibi-

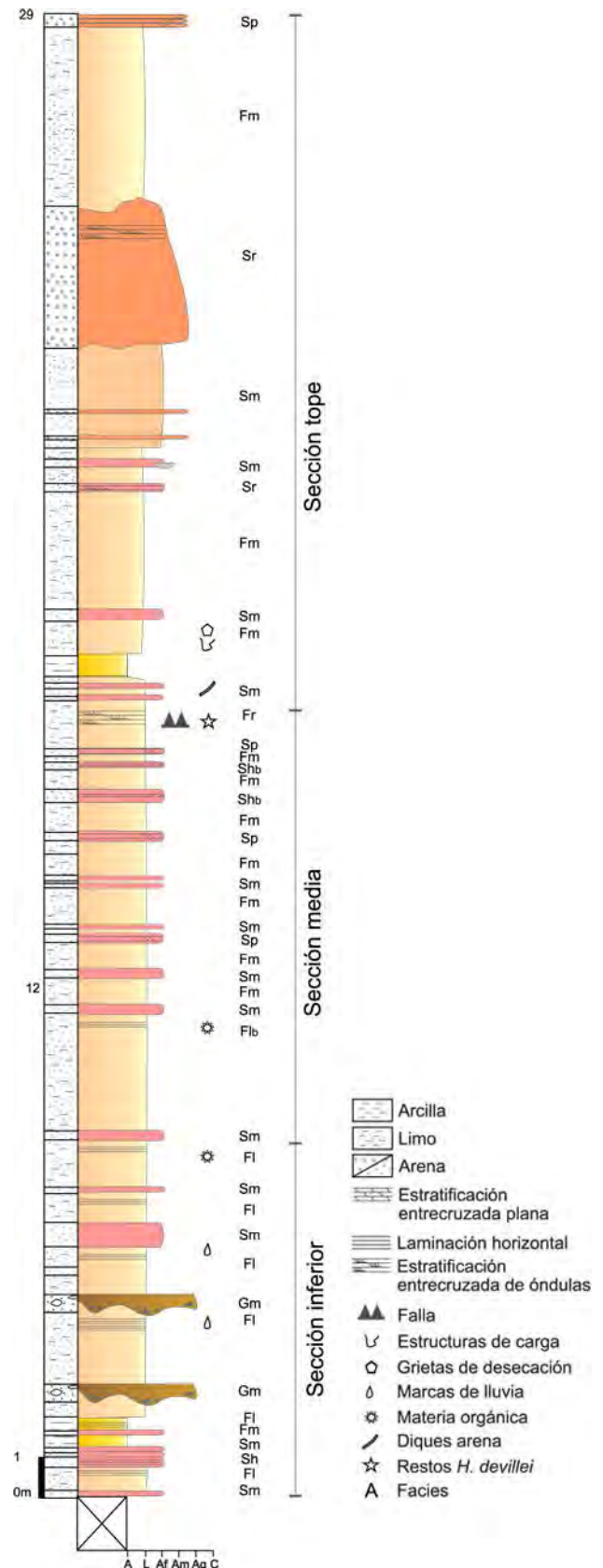


Figura 4. Sucesión estratigráfica-sedimentaria del paleolago DL3, Mendoza, Argentina.

Figure 4. Stratigraphic succession of the DL3 paleolake, Mendoza, Argentina.



Figura 5. Detalle de la facies arenas estratificadas y limo-arcillas laminadas, asociación de facies a de la sección inferior de la sucesión del paleolago DL3, Mendoza, Argentina: **a)** Estrato basal del paleolago constituido por limos (escala = piqueta de 35 cm). **b)** Estratos de limo-arcillas laminados (escala = lápiz de 20 cm). **c)** Estratos laminados de arena fina y limos alternados (escala = bolsa de muestras de 25 cm). **d)** Detalle de lag de clastos basales (flecha) en arenas estratificadas alternando con limos (escala = piqueta de 35 cm). **e)** Niveles de limos rojizos con láminas ricas en materia orgánica (flecha) y nódulos de carbonato (escala = birome de 15 cm).

Figure 5. Detail of the stratified sand facies and laminated silt-clays, facies association a of the lower section of the DL3 paleolake succession, Mendoza, Argentina: **a)** Basal layer of the paleolake constituted by silts (scale = 35 cm hammer). **b)** Strata of laminated silt-clays (scale = 20 cm pencil). **c)** Laminated layers of fine sand and alternate silts (scale = bag of 25 cm samples). **d)** Detail of lag of basal clasts (arrow) in stratified sands alternating with silts (scale = hammer 35 cm). **e)** Levels of reddish silts with a layer rich on organic matter (arrow) and carbonate nodules (scale = pen 15 cm).

lidad de un registro paleo-ambiental confiable en los Andes Áridos.

Justamente, los paleolagos son antiguos cuerpos de agua que existieron en condiciones climáticas e hidrológicas diferentes a las actuales. Por lo cual ya por sí es interesante de analizar, pero además su evolución estará condicionada por las variables ambientales del pasado. En el presente estudio se analizó el registro sedimentario de un paleolago pleistoceno tardío represado por una avalancha de rocas, en donde se hallaron en la sección inferior los restos del equino *Hippidion devillei*. En función del régimen

sedimentario analizado, la sección inferior pertenece a un ambiente dinámico cuyos 3 metros inferiores podrían corresponder al período de represamiento del arroyo. Esta sección presenta ingresos de material más grueso arenoso en una zona marginal de la cuenca (asociación de facies a). El contenido de materia orgánica es escaso en toda la sucesión del paleolago pero aparece en forma más abundante en esta sección. Se documenta la presencia de carbonatos hacia los niveles cuspidales de la misma sección lo que podría mostrar la zona marginal del sistema con desarrollo de paleosuelos.

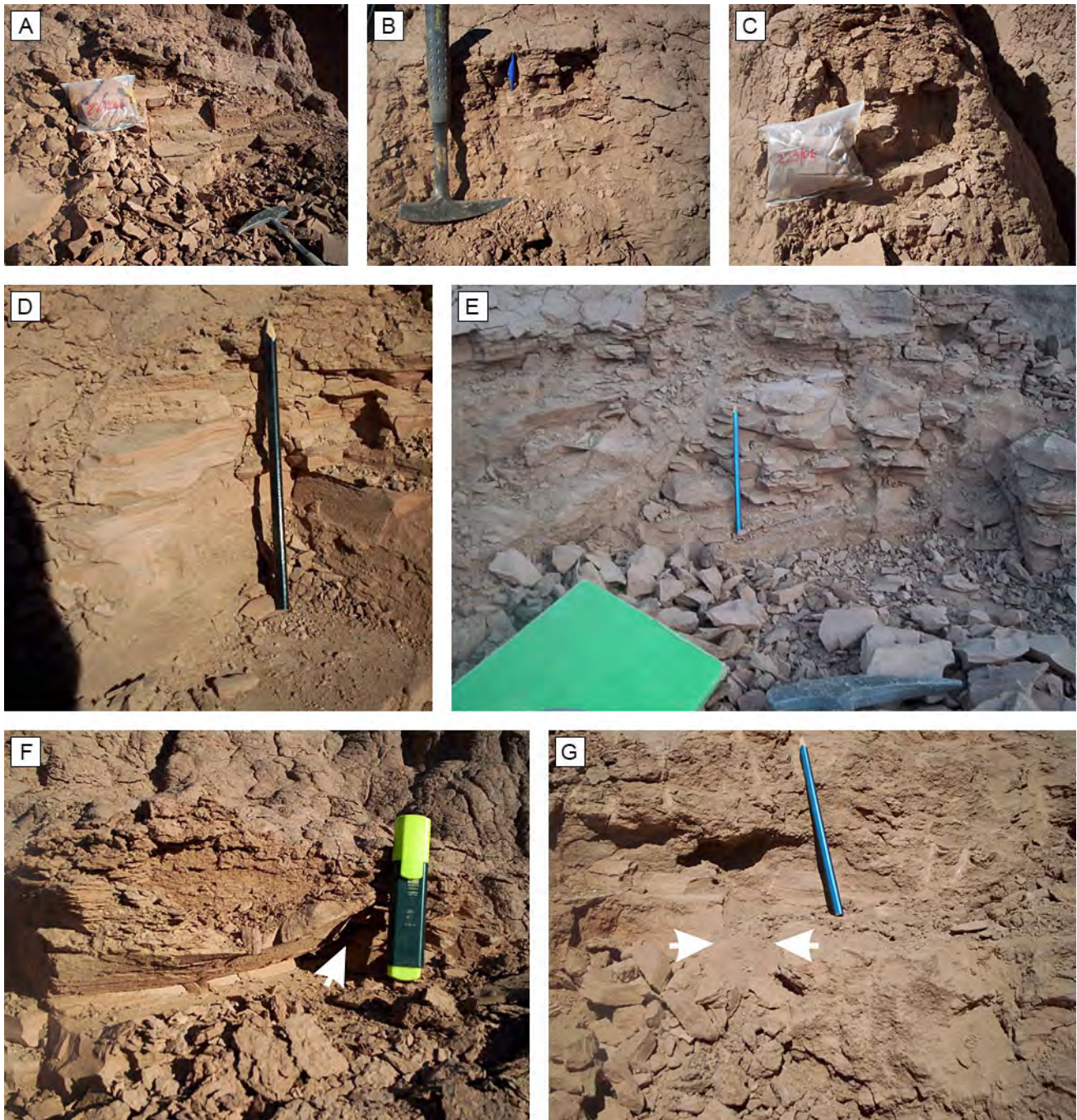


Figura 6. Facies limo-arcillas laminadas (Fl) de la asociación de facies b de la sección media, sucesión paleolago DL3, Mendoza, Argentina. Sucesión afectada por diques de arena y una falla. **a)** Niveles de limos estratificados (escala= bolsa de muestras de 25 cm); **b)** Bancos de limos con lentes de arenas (escala = piqueta de 35 cm); **c)** Láminas de limos rojizos con estratificación entrecruzada de óndulas (Fr) (escala = bolsa de muestras de 25 cm); **d)** Bancos de limos alternados con arenas muy finas con laminación horizontal y de bajo ángulo muy fina (escala = lápiz de 20 cm); **e)** Limos laminados con estructuras de corte y relleno (escala = lápiz de 20 cm). **f)** Detalle de (c) donde se observa la falla inversa indicada por la flecha (escala = resaltador de 10 cm); **g)** Niveles de limos laminados con diques de arena, las flechas indican los bordes del dique de arena (escala= lápiz de 20 cm).

Figure 6. Laminated silt-clay facies (Fl) of the facies association b of the middle section, DL3 paleolake sequence, Mendoza, Argentina. Sequence affected by sand dikes and a fault. **a)** Levels of stratified silts (scale = sample bag of 25 cm); **b)** Banks of silts with sands lenses (scale = hammer of 35 cm); **c)** Reddish silt sheets with cross stratification (Fr) (scale = sample bag of 25 cm). **d)** Banks of silts alternated with very fine sands with horizontal lamination and very low angle (scale = pencil of 20 cm); **e)** Laminated silts with cut and fill structures (scale = pencil of 20 cm); **f)** Detail of (c) where a reverse fault is observed indicated by the arrow (scale = highlighter of 10 cm); **g)** Levels of laminated silts with sand dikes, arrows indicate border of the sand dike (scale=pencil of 20 cm).

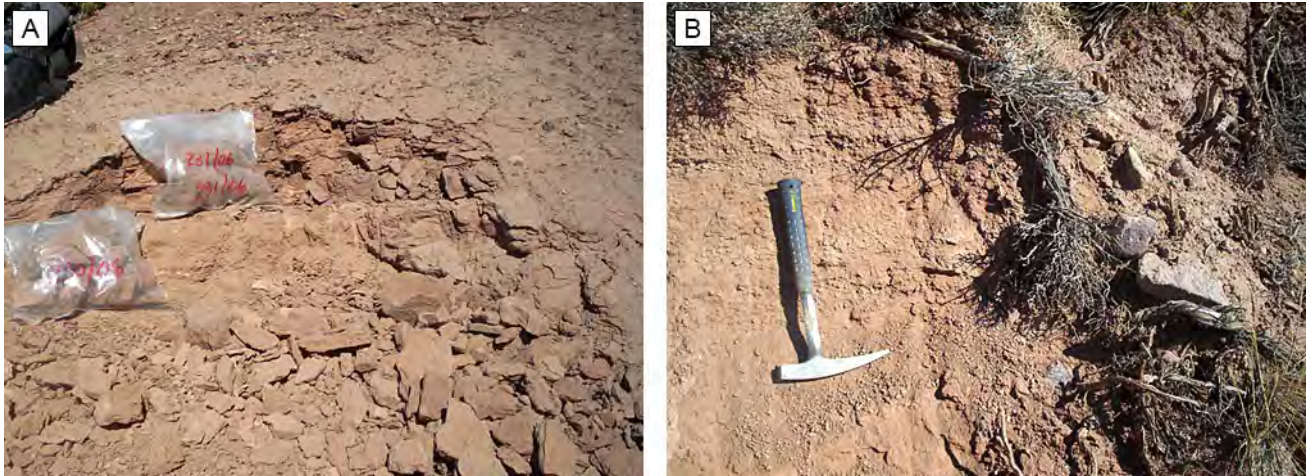


Figura 7. Facies limo-arcillas laminadas (Fl) de la asociación de facies b de la sección tope, sucesión paleolago DL3, Mendoza, Argentina. **a)** Estratificación entrecruzada de óndulas (Fr) (escala = bolsa de muestras de 25 cm), **b)** Laminación horizontal de bajo ángulo (escala = piqueta de 35 cm).

Figure 7. Facies laminated silt-clays (Fl) of the facies association b of the top section, DL3 paleolake succession, Mendoza, Argentina. **a)** Crossed stratification of ripples (Fr) (scale = sample bag of 25 cm), **b)** Low angle horizontal lamination (scale = hammer of 35 cm).

La sección media presenta predominio de material más fino, evidenciando un período de menor energía del ambiente. La alternancia de limo-arena y las estructuras sedimentarias nos permiten inferir que se trata de la zona más distal del sistema a la que llegan posiblemente flujos mantiformes (paso gradual a la asociación de facies b). Se observan grietas de desecación que evidencian períodos de exposición subaérea y reducción en la extensión del cuerpo de agua. En esta sección, el contenido de materia orgánica se localiza en los primeros 2 metros. La presencia de estructuras de carga podría corresponder a sismitas, aunque no se encuentran en gran extensión a lo largo del perfil por lo que posiblemente estén asociadas a deposición de sedimentos con densidad diferente. El predominio de fuerzas compresivas en el sistema vinculado a la paleosismicidad regional, está evidenciado principalmente por la presencia de fallas menores que afectan a la sucesión de la sección media en su parte terminal aunque pueden deberse a presiones del lago en su zona media.

Las facies encontradas en la sección tope son indicadoras también de una posición más central en la cuenca (asociación de facies b). En tanto la presencia de grietas de desecación y de barquillos apoyan fuertemente la interpretación del sistema de tipo efímero. El escaso contenido de materia orgánica hallado y la presencia de niveles carbonáticos en la sucesión lacustre, podrían indicar condiciones áridas

para este paleolago, aunque la precipitación de carbonatos ocurre en un amplio rango de condiciones climáticas. Según lo observado a partir del estudio sedimentario, estimamos que posiblemente este ambiente depositacional se desarrolló en un sistema de tipo barreal típico de ambiente montañoso de altura.

CONCLUSIÓN

A partir de la datación de la avalancha de rocas PB3, la cual generó el represamiento del Arroyo Minero dando origen al paleolago DL3 objeto de este estudio, se obtuvo una edad aproximada de 115 Ka, es decir Pleistoceno medio-tardío. Dicha edad es corroborada con la presencia de restos dentarios de *Hippidion devillei*, especie que alcanzó las latitudes de la zona de estudio durante el Plesitoceno tardío. Los depósitos lacustres donde fueron hallados dichos restos, pertenecen a un sistema efímero de tipo barreal en altura lo cual indicaría que estuvieron sometidos a períodos de llenado y secado. Este hecho es apoyado por la presencia de grietas de desecación y barquillos en diversos niveles de la sucesión paleolacustre.

Agradecimientos

Queremos agradecer a los dos revisores anónimos cuyas observaciones y comentarios ayudaron a

mejorar este artículo. Este trabajo fue posible gracias financiamiento del Programa ANLAC (AMENAZAS NATURALES EN LOS ANDES CENTRALES) otorgado por la Universidad Nacional de Cuyo a la Dra Moreiras y el Proyecto SeCTyP 2016-2018 A06/669 -El rol de los deslizamientos en el balance sedimentario y comportamiento hidrológico de las cuencas andinas: Historia paleo-ambiental e hidrodinámica actual en los Andes Centrales- liderado por Moreiras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, P., L. Gibert, M. Moretti, F.J. García-Tortosa, C. Sanz de Galdeano, J. Galindo Zaldívar y A.C. López-Garrido, 2010. The significance of giant seismites in the Plio Pleistocene Baza palaeo-lake (S. Spain). *Terra Nova* 22:172-179.
- Bohacs, K.M., A.R. Carroll, J.E. Neal y P.J. Mankiewicz, 2000. Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated sequence-stratigraphic-geochemical framework. Lake basins through space and time: *AAPG Studies in Geology* 46:3-34.
- Camino, R., 1965. Geología de la vertiente oriental del Cordón del Plata, Cordillera Frontal de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20 (3):351-392.
- Camino, R., 1979. Cordillera Frontal. 2° Simposio Geología Regional Argentina, Córdoba 1:397-454.
- Cerdeño, E., S.M. Moreiras y M. T. Alberdi, 2008. Primeros hallazgos del équido *Hippidion* (Perissodactyla) en el Pleistoceno de la provincia de Mendoza, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 2:211-220.
- Del Río, C., H.H. Camacho, M. Aguirre, A. Caramés, G. Cusmisnky, C. de Francesco, E. Farinati, S. Gordillo, C. Laprida, S. Miquel y S. Morton, 2007. Invertebrados del Cenozoico de la Argentina. *Publicación Especial Ameghiana 50° aniversario*: 221-235.
- Fauque, L., R. Hermanns y C. Wilson, 2009. Mass removal in the Andean region. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (4), 687.
- Fisher, J.A., C.B.E. Krapf, S. C Lang, G.J. Nichols y T.H.D. Payenberg, 2008. Sedimentology and architecture of the Douglas Creek terminal splay, Lake Eyre, central Australia. *Sedimentology* 55:1915-1930.
- García-Rodríguez, F., 2002. Estudio paleolimnológico de lagunas de Rocha, Castillos y Blanca, sudeste del Uruguay. *Tesis de Doctorado en Biología*, Opción Ecología. Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (PEDECIBA). Facultad de Ciencias, Universidad de la República Montevideo, 176 p., Montevideo.
- García Castro, Y.C., 2011. Reconstrucción paleoambiental del Holoceno tardío con base en el análisis de palinofacies de la terraza de San Nicolás, registro del paleolago Cauca, Colombia. *Master thesis, University EAFIT*, Medellín, 111pp.
- Gierlowski-Kordesch, E.H., 1998. Carbonate deposition in an ephemeral siliciclastic alluvial system: Jurassic Shuttle Meadow Formation, Newark Supergroup, Hartford Basin, USA. *Palaeogeography Palaeoclimatology y Palaeoecology* 140:161-184.
- Gierlowski-Kordesch, E.H. y K. Kelts, 1994. *Global Geological record of lake basins*. Cambridge University press. 431 pp.
- Gierlowski-Kordesch, E.H. y B.R. Rust, 1994. The Jurassic East Berlin Formation, Hartford Basin, Newark Supergroup (Connecticut and Massachusetts): a saline lake-playa-alluvial plain system. In: *Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes* (Eds. R.W. Renaut and W.M. Last), SEPM Special Publication 50:249-265.
- Heredia, N., P. Farias, J. García-Sansegundo y L. Giambiagi, 2012. The Basement of the Andean Frontal Cordillera in the Cordón del Plata (Mendoza, Argentina). *Geodynamic Evolution Andean Geology* 39 (2):242-257.
- Laprida, C., J. Massaferró, M. Mercáu y G. Cusminsky, 2014. Paleobiocuidadores del fin del mundo: ostrácodos y quironómidos del extremo sur de Sudamérica en ambientes lacustres cuaternarios. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 21(2):97-117.
- Miall, A.D., 1978. Fluvial sedimentology. *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir* 5, 859 pp.
- Moreiras, S.M., R.L. Hermanns y L. Fauqué, 2015. Cosmogenic dating of rock avalanches constraining Quaternary stratigraphy and regional neotectonics in the Argentine Central Andes (32° S). *Quaternary Science Reviews* 112:45-58.
- Norte, F., 1995. *Condiciones meteorológicas favorables a la contaminación atmosférica en Mendoza*. Mendoza Ambiental-IADIZA-CRICYT-CONICET, p. 197-206.
- Obermeier, S.F., 1996. Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis- An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. *Engineering Geology* 44:1-76.
- Retallack, G.J., 1994. A pedotype approach to latest Cretaceous and earliest Tertiary paleosols in eastern Montana. *Geological Society of America Bulletin* 106:1377-1397.
- Rodríguez-Pascua M.A., J.P. Calvo, G. De Vicente y D. Gómez-Gras, 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology* 135 (1-4):117-135.
- Sánchez-P, L., R. Rico-M, M. R. Fernández-B y J. Cañetas, 2000. Estomatocistas Fósiles de Crisoficeas de El Arenal Jalisco, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6 (2):93-102.
- Smoot, J. y T. Lowenstein, 1991. Evaporites, Petroleum and Mineral Resources. *Developments in Sedimentology*. Elsevier 50: 254-260.
- Van Loon, A.J., 2009. Soft-sediment deformation structures in siliciclastic sediments: an overview. *Geologos* 15:3-55.
- Webb, S.D., 1991. Ecogeography and the Great American Interchange. *Palaeobiology* 17: 266-280.
- Williamson, C., W. Dodds, T. Kratzy M. Palmer, 2008. Lakes and streams as sentinels of environmental changes in terrestrial and atmospheric processes. *Frontiers in Ecology and Environments* 6:247-254.
- Young, M.J., R.L. Gawthorpe y I.R. Sharp, 2003. Normal fault growth and early syn-rift sedimentology and sequence stratigraphy: Thal Fault, Suez Rift, Egypt. *Basin Research* 15:479-502.